

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-098170

(43)Date of publication of application : 08.04.1994

(51)Int.Cl.

H04N 1/40

G02B 27/46

G06F 15/68

(21)Application number : 05-046751

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(22)Date of filing : 08.03.1993

(72)Inventor : OOYAMA NAGAAKI  
KOMIYA YASUHIRO

(30)Priority

Priority number : 04136183

Priority date : 28.04.1992

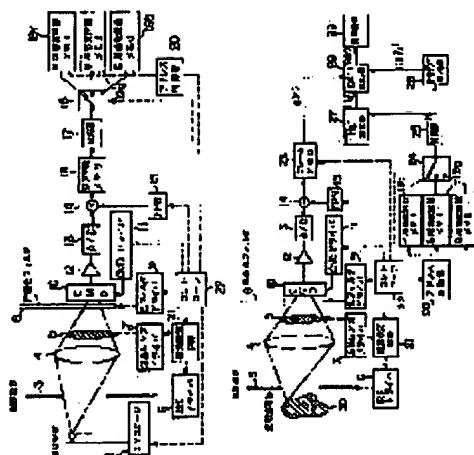
Priority country : JP

## (54) IMAGE PICKUP DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide an image pickup device in which an original picture can be exactly restored without being affected by an optical system even at the time of handling a continuous system and a discrete system.

CONSTITUTION: In a sensitivity function measuring means, a CMD 10 which picks up a light from a light source 1 is arranged through a photographing lens 4 and a liquid crystal lens 5, and a pre-amplifier 12, A/D converter 13, subtracter 14, sensitivity function memory 16, compressor 17, and sensitivity function memories 19r, 19g, and 19b for R, G, and B are connected through a switching circuit 18 to the CMD 10 in this order. And also, in a picture restoring means which restores the original picture by using the sensitivity function searched by the sensitivity function measuring means, a calculator 28 which calculates the restored picture is connected to a frame memory 23 which stores a picture signal picked up by the CMD 10, each of calculators 26 and 27 which calculate the sensitivity function stored in the sensitivity function memories 19r, 19g, and 19b, and a display device 29.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 02.03.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 27.08.2002

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3583447

[Date of registration]	06.08.2004
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]	2002-18832
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]	26.09.2002
[Date of extinction of right]	

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] Image pick-up equipment which has a sensitivity function storage means by which the sensibility function data showing the photosensitivity in the object space in each point of photography optical system, the image sensor for picturizing the body image by which incidence is carried out through said photography optical system, and said image sensor was memorized beforehand, and an image restoration means to restore the image data picturized by said image sensor using the sensibility function data memorized by said sensitivity function storage means.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and NCIP I are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to image pick-up equipment equipped with an image restoration means to restore correctly the image data which started image pick-up equipments, such as an electronic "still" camera which picturizes a subject-copy image and is restored, especially deteriorated.

[0002]

[Description of the Prior Art] As everyone knows, it sets to imaging systems, such as an electronic "still" camera using optical system, and is subject-copy image  $f(r)$  ( $r$  expresses a location) like drawing 3. Optical system  $L$  is minded and it is observation image  $g(r)$ . Image formation is carried out on the image sensor which do not illustrate by carrying out.

[0003] here -- subject-copy image  $f(r)$  the Fourier spectrum --  $F(\omega)$  and observation image  $g(r)$  the Fourier spectrum --  $G(\omega)$  -- then --  $G(\omega) = H(\omega) \times F(\omega)$  -- (1)

(-- here, it can express  $\omega$ :spatial-frequency).

[0004] At this (1) type, it is  $H(\omega)$ . It is called an optical transfer function (OTF:Optical Transfer Function) and is used as a thing showing the image formation property of a imaging system.

[0005] Moreover, what carried out the inverse Fourier transform of the  $H(\omega)$  is called a point spread function (PSF:Point Spread Function).

[0006] Now, observation image  $g(r)$  Subject-copy image  $f(r)$  In order to compare and to become completely the same, it needs to be set to  $H(\omega) = 1$  to all  $\omega$ .

[0007] However, generally actual optical system is set to  $H(\omega) < 1$ , and degradation produces it in an image.

[0008] Then, the technique by the inverse filter (Inverse Filter) is known as an approach of restoring a subject-copy image from an observation image.

[0009] This Inverse About Filter, it is Prentice-Hall, for example as reference. International "Fundamentals of Digital Image Processing" of Editions issue, ANIL It is explained to the KJAIN work P275-P277 in detail.

[0010] Then, according to this reference, it is a restoration filter.  $H = (\omega) 1/H(\omega)$  -- (2)

It \*\*\*\*.

[0011] However, since this filter is expressed with the inverse number of  $H(\omega)$ ,  $H = (\omega)$  will emit at the time of  $H(\omega) = 0$ . Then,  $H = (\omega) 1/H(\omega)$  (at however, the time of  $H(\omega) = 0$ ) -- (3)

$H = \omega = 0$  (at however, the time of  $H(\omega) = 0$ ) -- (3')

It \*\*\*\*\*.

[0012]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] the restoration filter shown by (2), (3), and (3') the formula which were mentioned above -- which location of an image -- even if it is, the so-called PSF(s), such as intensity distribution of the image of optical system to the point, are equal

(space-invariant) -- \*\* -- the conditions to say were required.

[0013] However, since various aberration and foci were carried out under the effect of a gap etc. in actual optical system and PSF changed with the locations of an image (space-variant), with the restoration filter shown by (2) and (3) formulas, a subject-copy image was not able to be restored correctly.

[0014] Moreover, although using the restoration filter shown by (2) and (3) formulas is also considered after measuring different PSF according to an image location correctly in such a case, it becomes a problem from the sampling first at measurement of PSF.

[0015] That is, in spite of defining the image as continuation in an observation image side, in an image sensor etc., it will dissociate for every pixel of the, PSF will sample an image discretely, and the exact measurement of PSF of it becomes impossible.

[0016] Therefore, with the conventional restoration filter, exact restoration of a subject-copy image will essentially be impossible.

[0017] This invention is made in view of the above points, and when a continuous system and a discrete time system are treated, it aims at offering the image pick-up equipment which cannot be influenced of optical system but can restore a subject-copy image correctly.

[0018]

[Means for Solving the Problem] The image pick-up equipment of this invention has a sensitivity function storage means by which the sensibility function data showing the photosensitivity in the object space in each point of photography optical system, the image sensor for picturizing the body image by which incidence is carried out through said photography optical system, and said image sensor was memorized beforehand, and an image restoration means to restore the image data picturized by said image sensor using the sensibility function data memorized by said sensitivity function storage means.

[0019]

[Function] A sensitivity function storage means memorizes the sensibility function data measured by picturizing the body image by which incidence is beforehand carried out through photography optical system, for example with an image sensor. And an image restoration means asks for restoration image data by using the image data picturized with the image sensor through photography optical system, and the sensibility function data for which it asked with said sensitivity function storage means.

[0020]

[Example] First, in advance of explanation of the example of this invention, the restoration approach of the subject-copy image using the sensitivity function used as the principle of this invention is explained.

[0021] Subject-copy image  $f$  which is a sequential image as shown in drawing 3 (a) now (r) Observation image  $g$  which is a discrete image in the image sensor (not shown) which carried out image formation according to optical system  $L$ , and which was set to the image formation side (r) An image restoration means to restore with the sensitivity function storage means and its sensitivity function in the case of picturizing is considered.

[0022] When picturizing with an image sensor, as it is shown in drawing 3 (b) here, it is this observation image  $g$  (r). It is considered a discrete image and a model can be made like a degree type.

[0023]

$g_i = \int f(r) h_i(r) dr$  -- (4)

At this (4) type,  $h_i$  (r) is observation image  $g$  (r). If it is a function showing the sensitivity profile which contributes to the  $i$ -th pixel and all pixels are expressed collectively  $g(r) = H\{f(r)\}$  -- (5) By this becoming (5) formula,  $H\{\}$  is considered as a conversion operator from a sequential image to a discrete image, and calls a sensitivity function.

[0024] Now, subject-copy image [ as a continuous function ]  $f(r)$  Since it defines as the continuous system, it will have the point of an infinity individual within the limits of an observation image, and the base vector in object space will be considered to be an infinity individual.

[0025] The train of a sensitivity function  $H$  serves as an infinity individual, and it becomes

impossible therefore, to define the sensitivity function itself.

[0026] then, transposed matrix HT of H as the conversion operator from a discrete time system to a continuous system -- giving a definition -- HHT \*\*\*\*\* -- it thinks. That is, they are m, then HHT about the number of pixels of an image sensor now. It becomes possible to become a mxm matrix and to consider an inverse matrix. And the restoration image fe (r) is called for by the degree type.

[0027]

$fe(r) = Hs T + (HHT) g(r)$  -- (6)

this (6) type -- + -- a SHUDO in berth (pseudo inverse) -- the so-called false inverse matrix is expressed.

[0028] Moreover, HHT If each element is set to  $a_{ij} = \int h_i(r) x_{hj}(r) dr$  -- (7)

It is given by carrying out.

[0029] This (HHT) + Various approaches can be considered for calculation, for example, it is (HHT)+ by SVD analysis. It is computable.

[0030] It is the abbreviation for the Cingular value deconstructivism position (SingularValue Decomposition) in this SVD, and it is used for the data compression of an image, the property analysis of a linear system, etc., and is explained to P176-P180 of the above-mentioned reference.

[0031] Moreover, when there is a noise, it sets at (6) ceremony, and it is HHT. What is necessary is just to use HHT+cl (for c to be a constant and for I to be a unit matrix) instead.

[0032] Furthermore, since the location r of a subject-copy image is arbitrary in (6) types, it means that the picture signal of any locations of a subject-copy image can be searched for irrespective of the several m pixel of an image sensor.

[0033] That is, since the field of arbitration can be picturized corresponding to a several m pixel, an electronic zoom becomes possible, without performing a interpolation operation.

[0034] It is Hs T of (6) types here. The conversion for displaying a restoration image can be considered, Suffix s expresses the number of display pixels, and it is Hs T. It is expressed with a sxm matrix.

[0035] Thus, in this invention, the observation image defined as the discrete image is restored by measuring a sensitivity function H with a sensitivity function measurement means by the image restoration means using (6) types considering a subject-copy image and the subject-copy image which is the same continuation as a sequential image instead of measuring PSF in count.

[0036] Here, the above-mentioned sensitivity function measurement means is explained using drawing 1 which shows the configuration. In addition, although a two-dimensional image is treated in fact, in order to simplify explanation, the notation of an image decides to express with one dimension.

[0037] That is, in drawing 1, the source 1 of the illumination light is arranged so that the light from the point light source may be picturized by CMD10 through a field diaphragm 3 and a taking lens 4.

[0038] This source 1 of the illumination light is being fixed to X-Y stage 2 which moves in the inside of a field perpendicular to the optical axis of a taking lens 4.

[0039] And in order to change the optical path of the light which passed the taking lens 4, a column is carried out to a taking lens 4, and the liquid crystal lens 5 is arranged.

[0040] Here, a field diaphragm 3 and the liquid crystal lens 5 are connected to the field angle setting circuit 21 which makes the diaphragm driver 6 and the liquid crystal lens driver 7 which control each drive.

[0041] Image formation of the light which passed the liquid crystal lens 5 is carried out to the charge modulation element (it is hereafter described as CMD) 10 as an image sensor through the turnable filter 8 connected to the color filter driver 9.

[0042] A preamp (pre amplifier) 12 and the analog-to-digital (A/D) converter 13 are connected to this CMD10.

[0043] Furthermore, the memory (it is described as FPN memory below) 15 said fixed pattern noise of CMD10 is beforehand remembered to be, and said A/D converter 13 are connected to two input edges of a subtractor 14, respectively.

[0044] Moreover, the memory 16 (since especially a sensitivity function will be memorized, it is described as sensitivity function memory below) for memorizing the picturized data is connected to the outgoing end of a subtractor 14.

[0045] Here, although the number of trains will originally become infinity, in fact, since such measurement is impossible, a sensitivity function  $H$  considers as a finite individual ( $n$  pieces), and as shown in this memory at drawing 4, it memorizes a sensitivity function in the form of a  $m \times n$  matrix.

[0046] That is, the sensitivity profile  $h_i$  of the pixel  $i$  to which each line corresponds ( $r$ ) is memorized.

[0047] And the change circuit 18 which performs a change in each memory of sensitivity function memory 19r for (Red R)  $r$  [ for the RGB three primary colors ] and sensitivity function memory 19g for (Green G) and sensitivity function memory 19b for (Blues B) is connected to the outgoing end of the sensitivity function memory 16 through the data compression machine 17.

[0048] Moreover, the address controller 20 is connected to sensitivity function memory 19g for sensitivity function memory 19r for R, and G, and sensitivity function memory 19b for B, respectively.

[0049] Furthermore, the CMD driver 11, the FPN memory 15, the change circuit 18, and the address controller 20 for controlling the color filter driver 9 for controlling said X-Y stage 2, the field angle setting circuit 21, and the rotation color filter 8 and the drive of CMD10 are connected to the controller 22, respectively.

[0050] Next, the measurement of a sensitivity function  $H$  based on the above-mentioned configuration is explained.

[0051] first, measurement -- each color image of RGB -- it carries out for every field angle separately.

[0052] In this case, although a sensitivity function  $H$  is a conversion operator from a continuous system to a discrete time system as mentioned above, and that number of trains will originally become an infinity individual, since such measurement is impossible, in fact, it measures as  $n$  pieces and suppose that it computes by the interpolation operation so that it may mention later about a required location.

[0053] As shown in a sensitivity function  $H$  at drawing 4, the sensitivity profile in each observation image location shall be located in a line with a line writing direction, and the sensitivity profile in each observation image location shall be located in a line in the direction of a train here.

[0054] And it asks for this sensitivity function by picturizing in each observation image location, shifting the source 1 of the illumination light.

[0055] Next, while adjusting a field diaphragm 3 by control of the diaphragm driver 6 so that a field angle may be set to  $\theta_{\max}$  (equivalent to drawing 5 (a)) by the field angle setting circuit 21 after setting the rotation color filter 8 to R by the color filter driver 9 for a concrete operation of a sensitivity function measurement means, the liquid crystal lens 5 is adjusted by control of the liquid crystal lens driver 7.

[0056] and the location on a subject-copy image -- drawing 5 (a) -- like -- a full field --  $n$  location ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) -- it is -- etc. -- a part is carried out, the source 1 of the illumination light is moved to the location  $x_1$  on a subject-copy image by the drive of X-Y stage 2, and it picturizes by CMD10.

[0057] Here, a field angle setup with a field diaphragm 3 and the liquid crystal lens 5 is explained using drawing 5. As mentioned above in this invention, even if it does not change especially a field angle from (6) types, an electronic zoom is possible, but by inputting only more light of the photographic subject image which you want to restore, since the precision of restoration is raised, such a field angle setting circuit 21 has been formed.

[0058] Concretely, drawing 5 (a) is an example in the case of being equivalent to a wide angle lens, a field diaphragm 3 is opened widely, and the refractive index of the liquid crystal lens 5 is controlled so that the refractive power becomes large.

[0059] And it is reverse, drawing 5 (b) is an example in the case of being equivalent to a telephoto lens, its field diaphragm 3 is narrow, and the refractive index of the liquid crystal lens 5

is controlled so that the refractive power becomes small.

[0060] That is, in looking far, the light of a photographic subject image will carry out incidence to the refractive index of the liquid crystal lens 5 being the same as drawing 5 (a) at some image sensors, but by lowering a refractive index like drawing 5 (b), the light of a photographic subject image can carry out incidence to the whole image sensor, and futility can be lost.

[0061] Moreover, it becomes [ changing a field angle easily and ] possible by using a field diaphragm 3 and the liquid crystal lens 5.

[0062] in addition, this field angle -- a controller 22 -- minding -- thetamin - thetamax which can be set up in the field angle setting circuit 21 up to -- it is made to be changed to predetermined every field angle (for it to be described as thetaint below)

[0063] next, the picture signal picturized by the pixel i of CMD10 -- sensitivity profile  $h_i(x_1)$  it is -- the picture signal is amplified by pre amplifier 12, and after being changed into a digital signal with A/D converter 13, it is written in the 1st train of each line of the sensitivity function memory 16 as the sensitivity-profile signal, i.e., sensibility function data, with which the fixed pattern noise of CMD memorized by the FPN memory 15 with the subtractor 14 was subtracted.

[0064] And next, the source 1 of the illumination light is moved to the location of  $x_2$ , same processing is performed, and the obtained sensibility function data is written in the location equivalent to the 2nd train of each line of the sensitivity function memory 16. Hereafter, same processing is performed until the source of the illumination light becomes the location of  $x_n$ , and the sensibility function data in each location is written in the corresponding sensitivity function memory 16.

[0065] And the amount of data is compressed with a compressor 17, and each value of the sensitivity function memory 16 is sensibility function data  $H_{thetamax}$ . It carries out and sensitivity function memory 19r for R memorizes.

[0066] next, a field angle -- thetaint only -- sensibility function data  $H_{thetamax-int}$  obtained by making it small and processing similarly It memorizes to sensitivity function memory 19r for R.

[0067] and -- such -- thetaint only -- each different visual fields of all -- crossing -- sensibility function data -- memorizing -- final -- a field angle -- thetamin The same processing is repeated until it becomes.

[0068] In addition, in detection, the visual field will be picturized in n location which divides the range of the predetermined locations  $x_1-x_n$  of a subject-copy image equally.

[0069] Above, storage of the sensibility function data to R image is finished, the sensibility function data of G and B image is called for similarly, sensitivity function memory 19g for G and sensitivity function memory 19b for B memorize, respectively, and storage of sensibility function data is completed.

[0070] Next, the image pick-up equipment equipped with the image restoration means which restores the image picturized by the image sensor using the sensibility function data called for by this measurement is explained.

[0071] Drawing 2 is a block diagram about the 1st example of the image pick-up equipment equipped with an image restoration means to apply the method of restoring an image to the so-called zooming, using the sensibility function data for which it asked with the above-mentioned sensitivity function measurement means.

[0072] In addition, the same sign is attached about the same configuration as drawing 1, and those detailed explanation is omitted.

[0073] In drawing 2, the frame memory 23 which memorizes image data is connected to the subtractor 14 in the sensitivity function measurement means of above-mentioned drawing 1.

[0074] And sensitivity function memory 19for R r [ which had been connected to the compressor 17 through the change circuit 18 in drawing 1 ] and sensitivity function memory 19g for G and sensitivity function memory 19b for B are connected only to the address controller 20 in drawing 2.

[0075] As it mentioned above in each of this memory 19r, 19g, and 19b, the sensibility function data of R, G, and B image is memorized, respectively, and the change circuit 24 for choosing the output from them is connected to a controller 22.

[0076] And it changes as an image restoration means, a circuit 24 minds the data expander 25,



and it is + (HHT). The calculation machine 26 and Hs T It connects with the calculation machine 27.

[0077] Furthermore, said each calculation machines 26 and 27 and frame memory 23 are connected to fe(r) calculation machine 28 that restoration image data should be computed from the each calculation output and said image data.

[0078] And the display 29 which displays the restoration image of the photography photographic subject 30 which exists in the front face of a taking lens 5 through a field diaphragm 3 is connected to fe(r) calculation machine 28.

[0079] Next, the operation of image restoration equipment based on the above-mentioned configuration is explained.

[0080] A field diaphragm 3 and the liquid crystal lens 5 are adjusted by the field angle setting circuit 21 through a controller 22 so that it may become the field angle theta expected that the image pick-up to the image pick-up photographic subject 30 starts.

[0081] And the exposure time of CMD10 is set up by the photometry system which is not illustrated, and the rotation color filter 8 is set to R by the color filter driver 9 through a controller 22.

[0082] Furthermore, the picture signal with which the image pick-up photographic subject 30 is picturized by CMD10 through optical system 3, 4, and 5, and is acquired is image data g (r) to the back frame memory 23 from which it was amplified by pre amplifier 12, and it was changed into the digital signal with A/D converter 13, and FPN was subtracted with the subtractor 14. It memorizes by carrying out.

[0083] On the other hand, sensibility function data H corresponding to the field angle theta is read from sensitivity function memory 19 for R r by the address controller 20, and it is inputted into the expander 25 of data through the change circuit 24.

[0084] A sensitivity function H is decoded in the data expander 25, and it is (HHT)+. The calculation machine 26 and Hs T It is inputted into the calculation machine 27.

[0085] (HHT) + With the calculation machine 26, it is HHT by (7) types first. Each component is calculated, and it continues and is + (HHT). It is calculated.

[0086] Moreover, Hs T It is Hs T by asking for s elements for a display by the interpolation operation from the sensitivity profile hi (r) which consists of n elements with the calculation vessel 27, and transposing this. It asks and inputs into fe(r) calculation machine 28.

[0087] g inputted from a frame memory 23 with fe(r) calculation vessel 28 (r) (HHT) + + inputted from the calculation machine 26 (HHT) And Hs T Hs T inputted from the calculation machine 27 Based on (7) types, the restoration image data fe of R (r) is computed, and it outputs to a display 29.

[0088] After computing restoration image data similarly about G and B image furthermore, it is outputted and displayed on a display 29.

[0089] Moreover, when a field angle is set as a different value, corresponding sensibility function data is read from each sensitivity function memory 19r, and g and b, and same processing is performed.

[0090] As explained in full detail above, the case where aberration is in a taking lens according to this example, and a focus are applicable also to automatic focus accommodation, without using many lens groups, since it is possible to restore a subject-copy image if even the sensitivity function is known without measuring PSF when the gap has arisen.

[0091] While carrying out optical-path change, the precision of a restoration image can be raised by [ the ] interlocking a field diaphragm and making it drive by using a part of optical system as a liquid crystal lens, so that the light of a photographic subject image may carry out incidence to the whole image sensor then and futility may be lost.

[0092] Moreover, in this example, since it was made to memorize after carrying out the data compression of the sensitivity function, the storage capacity of sensibility function data does not have \*\*, and came to end.

[0093] Furthermore, in this example, since it restored using the sensibility function data in the three primary colors of RGB, it is possible to restore a color picture good.

[0094] Moreover, at this example, it is Hs T. By changing, it is possible to display with the easily

different number of pixels.

[0095] Furthermore, in this example, when an image sensor has a pixel defect, a subject-copy image can be restored correctly.

[0096] In addition, if only it asks for sensibility function data H in this invention, since there is no limit of the number of pixels of an image sensor or the location of a pixel, it is possible [ a limit ], although the image was restored using all the pixels of CMD10 in this example for the random sampling of a suitable pixel to also restore an image correctly.

[0097] moreover -- although sensibility function data H was memorized in this example -- the time of storage of sensibility function data -- Hs T+ (HHT) up to -- it calculates and you may make it memorize this

[0098] Although it was made to drive the source of the illumination light in measurement of a sensitivity function, you may make it drive the image pick-up section which fixes the source of the illumination light and consists of CMD or a lens system in this example.

[0099] Furthermore, in a sensitivity function storage means, a sensitivity function may be measured by carrying out sequential migration and displaying the point which is equivalent to the source of the illumination light using a monitor 31 and a control indicator 32 like drawing 6.

[0100] Furthermore, as shown in drawing 7 (a) and (b), you may make it move two or more lens 33a and b, although a liquid crystal lens is used at the time of zooming and it was made to change an optical path at it.

[0101] In addition, drawing 7 (a) and (b) show the case of a wide angle image pick-up, and the case of a looking-far image pick-up, respectively, and have the relation corresponding to drawing 5 (a) mentioned above and (b).

[0102] Next, some different examples from the 1st example are explained.

[0103] In the 1st example mentioned above, as shown in drawing 3, restoration of a subject-copy image and the image with which sensibility-related was measured and picturized under the conditions that the distance to the taking lens in optical system is fixed was performed.

[0104] However, in fact, in order for a sensitivity function to change from a taking lens according to the distance to a subject-copy image, it needs to measure the sensitivity function according to this distance, and needs to restore a subject-copy image based on it.

[0105] Then, the 2nd example based on this principle is explained below using drawing 8 - drawing 10.

[0106] In addition, the same sign is attached about the member which carries out the same work as the 1st example mentioned above. Drawing 8 shows the block diagram for creation of the sensitivity function in the 2nd example, and a restoration filter. A different point from the example shown in drawing 1 in this drawing 8 is the point of using the stripe type color filter array 39 as [ shown in drawing 9 (a) ], and the distance Di to the source 1 of the illumination light, and a taking lens 4, instead of a rotation color filter, in order to acquire a color signal. It is the point which responds and creates a restoration filter.

[0107] In drawing 8, a reference mark 34 is distance measuring equipment (AF sensor), and it is the above-mentioned distance Di. It ranges.

[0108] A reference mark 35 is a color separation circuit, divides into each chrominance signal of R, G, and B the color signal picturized using the color filter array 39, and outputs it to the sensitivity function memory 16r, 16g, and 16b according to each color.

[0109] Reference marks 36r, 36g, and 36b are +, as it is a restoration filter calculation machine and is shown in drawing 9 (b) (HHT). The calculation machine 26 and Hs T It is Hs T+ (HHT) by being constituted by the calculation machine 27 and the multiplier 37. A restoration filter is calculated.

[0110] moreover, the reference marks 38r, 38g, and 38b -- R, G, and B -- the memory for memorizing the restoration filter which boiled, respectively and was calculated -- it is -- distance Di It is constituted so that it may respond and may be written in the corresponding address.

[0111] And the distance of the source 1 of the illumination light and a taking lens 4 is changed by X-Y stage 2, and it is the distance Di. It measures with distance measuring equipment 34 (AF sensor), and the computed restoration filter is written in the corresponding restoration filter.

distance  $D_i$  \*\*\*\* -- for example, it considers as the  $I$  piece selection ( $D1 - D_i$ ) from near to near ( $x$ ).

[0112] Drawing 10 shows the restoration circuit of an image.

[0113] In drawing 10, reference marks 40r, 40g, and 40b are filtering machines, and they are the image data  $gR$  from the frame memories 16r, 16g, and 16b according to each color,  $gG$ , and  $gB$ . It is based and restoration image data  $R'$ ,  $G'$ , and  $B'$  are computed from a degree type.

[0114]

$R' = eR \cdot gR$  -- (8)

$G' = eG \cdot gG$  -- (8')

$B' = eB \cdot gB$  -- (8'')

They are  $eR$ ,  $eG$ , and  $eB$  at this (8), (8'), and a formula (8''). It is a  $n \times m$  matrix (it is here, and  $n$  is the measurement size of a sensitivity function and  $m$  is the number of pixels of CMD), and they are  $gR$ ,  $gG$ , and  $gB$ . It is  $m \times 1$  matrix.

[0115] In addition, in drawing 10, reference marks 41 are output units, such as CRT and a video printer.

[0116] Next, the operation is explained about restoration processing.

[0117] After the picture signal of the photographic subject 30 picturized by CMD10 under proper light exposure is changed into a digital signal by A/D converter 13 through pre amplifier 12, the color separation circuit 35 separates into the data according to each color of  $R$ ,  $G$ , and  $B$ , and it is memorized by frame memories 16r, 16g, and 16b, respectively.

[0118] On the other hand, it is the distance  $D_i$  to a photographic subject 30 by work of distance measuring equipment 34. It is measured and is the distance  $D_i$  of each color by the address controller 20. The corresponding restoration filter  $eR$ ,  $eG$ , and  $eB$  are read from the restoration filter memory 38r, 38g, and 38b.

[0119] And with each filtering vessels 40r, 40g, and 40b, (8), (8'), restoration signal  $R'$  obtained by performing the operation of a formula (8''),  $G'$ , and  $B'$  are outputted to an output unit 41, and the image display to CRT etc. is made.

[0120] according to the 2nd above example -- each distance  $D_i$  every -- since a restoration filter is designed and the restoration filter was chosen according to the distance to a photographic subject on the occasion of restoration processing, also when the distance to a photographic subject differs, suitable restoration processing can be performed.

[0121] Moreover, in the 2nd example, since the color filter array is used instead of the turnable filter, a rotation color filter like the 1st example and its driving gear become unnecessary.

[0122] Others of this color filter array, such as not only a stripe type but a mosaic type, a check type, etc., may be proper.

[0123] Moreover, although the field angle is not changed in the 2nd example, a field angle may be changed like the 1st example.

[0124] By the way, it is the distance  $D_i$  to a photographic subject in the case of restoration processing in the 2nd example. The distance measuring equipment (AF sensor) for measuring was needed.

[0125] Then, the 3rd example explained below is the case where distance measuring equipment (AF sensor) is not used for the formation of small lightweight of the image pick-up section.

[0126] Drawing 11 shows the block diagram of the restoration processing circuit by the 3rd example.

[0127] In drawing 11, a reference mark 45 is a distance detecting element, and is constituted from the brightness detector 42 for detecting  $B'$  to restoration data  $R'$  as shown in drawing 12 (a),  $G'$ , and brightness data  $Y'$ , and brightness  $Y'$  by the maximum detector 44 for detecting the contrast memory 46 for memorizing the contrast detector 43 and its contrast value for a band pass filter etc. detecting the contrast of an image, and the maximum of a contrast value.

[0128] Next, an operation of the 3rd example is explained.

[0129] First, the photographic subject signal photoed like the 2nd example is memorized by frame memories 16r, 16g, and 16b after color separation.

[0130] And a controller 22 is minded and it is the photographic subject distance  $D1$  by the address controller 20. A corresponding restoration filter is read from the restoration filter

memory 38r, 38g, and 38b, and restoration signal R', G', and B' are called for with the filtering vessels 40r, 40g, and 40b.

[0131] And brightness data Y' is called for by the brightness detector 42, a contrast value is continuously calculated by the contrast detector 43, and it is the distance D1 of the contrast memory 46. It is written in the location corresponding to a location.

[0132] Next, photographic subject distance D2 A corresponding restoration filter is read from restoration filter memory, a contrast value is calculated similarly, and it is written in a position.

[0133] the above processings -- photographic subject distance D1 up to -- the contrast value in each distance is calculated by being carried out.

[0134] In the maximum detector 44, the distance Dmax (refer to drawing 12 b) from which the contrast value serves as max is outputted to a controller 22. Again, it is distance Dmax.

Restoration data R', G', and B' are outputted to an output unit 41 by reading the corresponding restoration filter from the restoration filter memory 38r, 38g, and 38b, and performing restoration processing with the filtering vessels 40r, 40g, and 40b.

[0135] Since it restores by choosing the restoration filter with which a contrast value serves as max in the 3rd example as mentioned above, the image which did not depend on the distance of a photographic subject but focused can be obtained.

[0136] therefore -- since distance measuring equipment (AF sensor) is not needed in the 3rd example and it is not necessary to move a taking lens -- a light weight -- the small image pick-up section can be offered.

[0137] Moreover, in the 3rd example, since the range and location can be freely set up in case the contrast detector 43 detects contrast, a location [ a location ] to make it focusing freely can be specified after photography.

[0138] In addition, for example, the tongue (not shown) from which the read-out location of restoration filter memory changes is formed, and while an observer operates this tongue and checks a restoration image on the screen of a display 41, you may make it choose the image which should be outputted, although the restoration filter was chosen in order of distance by control from a controller in the 3rd example.

[0139] The above-mentioned example restores the whole screen and is (HHT)+. With a calculation vessel, the operation which asks for the generalization inverse matrix of a mxm matrix will be carried out.

[0140] Usually, there are about  $5002 = 250000$  and m is HHT. Asking for a generalization inverse matrix becomes quite complicated. Then, it is HHT by dividing a screen finely and designing a restoration filter for every division field of the. It is possible to make a generalization inverse matrix easy to make a dimension small and to ask by this.

[0141] The 4th example explains the case where the technique by division of this screen is adopted.

[0142] In this case, division of a screen shall perform  $4 = 4 \times 16$  division like drawing 13 (a).

[0143] Drawing 14 shows the block diagram of the important section of the restoration filter calculation circuit for every division field in the 4th example.

[0144] 50 is a control section for writing memory here. In this 4th example, a sensitivity function shall measure like the above-mentioned example.

[0145] And with the restoration filter calculation vessels 47r, 47g, and 47b, using the sensitivity function corresponding to each division field, a restoration filter is computed and it writes in the division restoration filter memory 48r, 48g, and 48b.

[0146] Drawing 15 shows the block diagram of the restoration processing circuit by the 4th example.

[0147] In this 4th example, the place by which it is characterized is to compound each division field image restored by the image composition circuits 49r, 49g, and 49b, and restore the whole screen, after it reads the division restoration filter which corresponded for every division field from the division restoration filter memory 48r, 48g, and 48b and the filtering machines 40r, 40g, and 40b restore.

[0148] In addition, it is Matrix HHT, so that the number of partitions is lessened in the 4th example. A dimension becomes small, and while becoming easy to carry out count, the

calculation time amount of a restoration filter can be shortened.

[0149] Moreover, in case a screen is divided, when each division field has an overlap field mutually like drawing 13 (b), discontinuous connection of the compound image can be avoided. Moreover, even if it uses the conventional successive solution method instead of calculating an inverse matrix, it is possible natural.

[0150]

[Effect of the Invention] As mentioned above, in this invention, the sensibility function data of image sensor each location was memorized certainly, using the sensibility function data of image sensor each of this location, it was not analytically influenced of optical system as a sequential image, but the subject-copy image was made possible [ restoring correctly ].

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is drawing showing the configuration of the sensitivity function measurement means used for the 1st example of this invention.

[Drawing 2] It is drawing showing the configuration of the image restoration means of the 1st example of this invention.

[Drawing 3] The explanatory view of the sensitivity function of this invention is shown.

[Drawing 4] The sensitivity function of this invention is shown.

[Drawing 5] It is the block diagram showing the field angle setting device of this invention.

[Drawing 6] It is the block diagram showing the modification of the sensitivity function measurement means of the 1st example of this invention.

[Drawing 7] It is the block diagram showing the modification of the field angle setting device in the 1st example of this invention.

[Drawing 8] The block diagram for the sensitivity function in the 2nd example of this invention and restoration filter creation is shown.

[Drawing 9] Drawing 9 (a) shows an example of the color filter array used for the 2nd example of this invention, and drawing 9 (b) is the block diagram showing the restoration filter calculation machine used for the 2nd example.

[Drawing 10] It is the block diagram showing the restoration circuit of the image by the 2nd example of this invention.

[Drawing 11] It is the block diagram showing the restoration processing circuit by the 3rd example of this invention.

[Drawing 12] Drawing 12 (a) is the block diagram showing the distance detecting element used for the 3rd example of this invention, and drawing 12 (b) is drawing for explaining that the distance information which gives the maximum contrast value in the distance detecting element used for the 3rd example of this invention is outputted.

[Drawing 13] Drawing 13 (a) and (b) are drawings for illustrating the division gestalt of the screen in the 4th example.

[Drawing 14] It is the block diagram of an important section showing the restoration filter calculation circuit for every division field in the 4th example of this invention.

[Drawing 15] It is the block diagram showing the restoration processing circuit in the 4th example of this invention.

[Description of Notations]

- 1 Source of Illumination Light
- 2 X-Y Stage
- 3 Field Diaphragm
- 4 Taking Lens
- 5 Liquid Crystal Lens
- 6 Drawing Driver
- 7 Liquid Crystal Lens Driver
- 8 Turnable Filter
- 9 Color Filter Driver

- 10 Charge Modulation Element (CMD)
- 11 CMD Driver
- 12 Pre Amplifier
- 13 A/D Converter
- 14 Subtractor
- 15 FPN Memory
- 16 Sensitivity Function Memory
- 17 Compressor
- 18 Change Circuit
- 19r Sensitivity function memory for R
- 19g Sensitivity function memory for G
- 19b Sensitivity function memory for B
- 20 Address Controller
- 21 Field Angle Setting Circuit
- 22 Controller
- 23 Frame Memory
- 24 Change Circuit
- 25 Expander
- 26 HHT+ Calculation Machine
- 27 Hs <SUP>T Calculation Machine
- 28 Fe(R) Calculation Machine
- 29 Display
- 30 Photography Photographic Subject
- 34 Distance Measuring Equipment (AF Sensor)
- 35 Color Separation Circuit
- 36r, g, b Restoration filter calculation machine
- 38r, g, b Restoration filter memory
- 39 Color Filter Array
- 40r, g, b Filtering machine
- 41 Output Unit
- 45 Distance Detecting Element
- 47r, g, b Restoration filter calculation machine
- 48r, g, b Division restoration filter memory
- 49r, g, b Image composition circuit
- 50 Control Section

---

[Translation done.]

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-98170

(43)公開日 平成6年(1994)4月8日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 N 1/40	1 0 1 D	9068-5C		
G 0 2 B 27/46		9120-2K		
G 0 6 F 15/68	4 0 0 A	9191-5L		

審査請求 未請求 請求項の数1(全17頁)

(21)出願番号 特願平5-46751

(22)出願日 平成5年(1993)3月8日

(31)優先権主張番号 特願平4-136183

(32)優先日 平4(1992)4月28日

(33)優先権主張国 日本(JP)

特許法第30条第1項適用申請有り 1992年3月28日 社団法人応用物理学会発行の「1992年春季第39回応用物理学関係連合講演会講演予稿集No. 3」に発表

(71)出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社  
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72)発明者 大山 永昭

神奈川県横浜市緑区長津田町4259 東京工業大学像情報工学研究施設内

(72)発明者 小宮 康宏

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ  
ンパス光学工業株式会社内

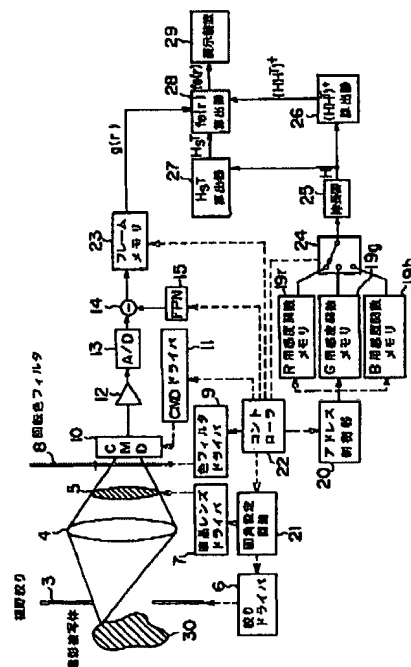
(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54)【発明の名称】 撮像装置

(57)【要約】

【目的】 本発明は、連続系と離散系とを扱った場合においても、光学系の影響を受けず原画像を正確に復元することができる撮像装置を提供することを目的とする。

【構成】 感度関数測定手段は、光源1からの光を撮像するCMD10が撮影レンズ4及び液晶レンズ5を介して配置され、そのCMD10には順にプリアンプ12、A/D変換器13、減算器14、感度関数メモリ16、圧縮器17及びR用、G用、B用感度関数メモリ19r、19g、19bが切り替え回路18を介して接続されている。また、感度関数測定手段により求めた感度関数を利用し原画像を復元する画像復元手段は、復元画像を算出する算出器28が、CMD10によって撮像した画像信号を記憶するフレームメモリ23と、上記各感度関数メモリ19r、19g、19bに記憶された感度関数の計算をする各算出器26、27に接続され、さらに表示装置へと接続されている。





## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】 撮影光学系と、

前記撮影光学系を介して入射される物体像を撮像するための撮像素子と、

前記撮像素子の各点における物体空間内の光感度を表す感度関数データを予め記憶した感度関数記憶手段と、  
前記感度関数記憶手段に記憶された感度関数データを用いて前記撮像素子により撮像された画像データを復元する画像復元手段とを有する撮像装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は原画像を撮像して復元す\*

$$G(\omega) = H(\omega) \times F(\omega)$$

(ここで、 $\omega$ :空間周波数)と表せる。

【0004】この(1)式で、 $H(\omega)$ は 光学伝達関数(OTF:Optical Transfer Function)とよばれるもので、イメージングシステムの結像特性を表すものとして用いられる。

【0005】また、 $H(\omega)$ を逆フーリエ変換したものは点像分布関数(PSF:Point Spread Function)と呼ばれる。

【0006】さて、観察画像 $g(r)$ が原画像 $f(r)$ と比較して全く同一となるためには、すべての $\omega$ に対して $H(\omega) = 1$ となる必要がある。

【0007】しかしながら、実際の光学系は一般に $H(\omega) < 1$ となり、画像に劣化が生じる。 ※

$$H^{-1}(\omega) = 1/H(\omega)$$

が示されている。

【0011】ただし、このフィルタは $H(\omega)$ の逆数で表されるため、 $H(\omega) = 0$ の時は $H^{-1}(\omega)$ は発散してしまう。そこで、

$$H^{-1}(\omega) = 1/H(\omega) \quad (\text{但し、} H(\omega) \neq 0 \text{ のとき}) \quad \dots (3)$$

$$H^{-1}(\omega) = 0 \quad (\text{但し、} H(\omega) = 0 \text{ のとき}) \quad \dots (3')$$

が定義されている。

## 【0012】

【発明が解決しようとする課題】 上述した(2)、

(3)及び(3')式で示される復元フィルタは、画像のどの位置においてもその点に対する光学系の像の強度分布等、いわゆるPSFが等しい(space-invariant)という条件が必要であった。

【0013】しかしながら、実際の光学系では種々の収差や焦点はずれ等の影響により、PSFは画像の位置によって変化(space-variant)するため、(2)、(3)式で示される復元フィルタでは原画像を正しく復元することができなかった。

【0014】また、そのような場合、画像位置に応じて異なるPSFを正確に測定してから、(2)、(3)式で示される復元フィルタを利用することも考えられる 50

\* 電子スチルカメラ等の撮像装置に係り、特に劣化した画像データを正確に復元する画像復元手段を備えた撮像装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 周知のように、光学系を用いた電子スチルカメラ等のイメージングシステムにおいては、図3のように原画像 $f(r)$  ( $r$ は位置を表す)は光学系 $L$ を介して観察画像 $g(r)$ として図示しない撮像素子上に結像される。

10 【0003】ここで原画像 $f(r)$ のフーリエスペクトルを $F(\omega)$ 、観察画像 $g(r)$ のフーリエスペクトルを $G(\omega)$ とすれば、

$$\dots (1)$$

※ 【0008】そこで、観察画像から原画像を復元する方法としてインバースフィルタ(Inverse Filter)による手法が知られている。

【0009】このInverse Filterについては、例えば文献としてPrentice-Hall International Editions発行の『Fundamentals of Digital Image Processing』, ANIL K. JAIN著P275~P277に詳しく説明されている。

【0010】そこで、この文献によれば復元フィルタとして、

$$\dots (2)$$

が、PSFの測定にはまずそのサンプリングから問題となる。

【0015】つまり、PSFは観察画像面においてその像が連続と定義されるにもかかわらず、撮像素子等においてはその画素ごとに分離され、像を離散的にサンプリングすることとなってしまう、PSFの正確な測定が不可能となる。

【0016】そのため、従来の復元フィルタでは原画像の正確な復元が本質的に不可能となってしまう。

【0017】本発明は以上のような点に鑑みてなされたものであり、連続系と離散系とを扱った場合においても、光学系の影響を受けず原画像を正確に復元することができる撮像装置を提供することを目的とする。

## 【0018】

【課題を解決するための手段】 本発明の撮像装置は、撮影光学系と、前記撮影光学系を介して入射される物体像を撮像するための撮像素子と、前記撮像素子の各点における物体空間内の光感度を表す感度関数データを予め記憶した感度関数記憶手段と、前記感度関数記憶手段に記憶された感度関数データを用いて前記撮像素子により撮像された画像データを復元する画像復元手段とを有するものである。

## 【0019】

【作用】感度関数記憶手段は、例えば予め撮影光学系を介して入射される物体像を撮像素子によって撮像することにより測定された、感度関数データを記憶する。そして、画像復元手段は撮影光学系を介して撮像素子により撮像した画像データと前記感度関数記憶手段によって求めた感度関数データを利用することにより、復元画像データを求める。

【0020】

【実施例】先ず、本発明の実施例の説明に先立ち、本発明の原理となる感度関数を用いた原画像の復元方法を説明する。

$$g_i = \int f(r) \times h_i(r) dr \quad \dots (4)$$

この(4)式で、 $h_i(r)$ は観察画像 $g(r)$ の $i$ 番目の画素に寄与する感度分布を表す関数であり、全画素をまと

$$g(r) = H \{ f(r) \} \quad \dots (5)$$

となるこの(5)式で、 $H \{ \}$ は連続画像から離散画像への変換オペレータとして考えられ、感度関数と呼称する。

【0024】さて連続関数としての原画像 $f(r)$ は連続系で定義されているため、観察画像の範囲内に無限個の点をもつことになり、物体空間での基底ベクトルを無限個と考えることとなる。

【0025】そのため、感度関数 $H$ の列が無限個とな

$$f e(r) = H^{-1} (H H^{-1})^{-1} g(r) \quad \dots (6)$$

この(6)式で、 $+$ はシュドーインバース(pseudo inverse)いわゆる疑似逆行列を表す。

$$a_{ij} = \int h_i(r) \times h_j(r) dr \quad \dots (7)$$

として与えられる。

【0029】この $(H H^{-1})^{-1}$ の算出には種々の方法が考えられ、例えばSVD解析により $(H H^{-1})^{-1}$ を算出できる。

【0030】このSVDとはシンギュラーバリューデコンポジション(Singular Value Decomposition)の略で、画像のデータ圧縮や線形システムの特性解析等に利用されており、前述の文献のP176~P180に説明されている。

【0031】また、ノイズがある場合は(6)式において $H H^{-1}$ の代わりに $H H^{-1} + c I$ ( $c$ は定数、 $I$ は単位行列)を用いばよい。

【0032】さらに、(6)式において原画像の位置 $r$ は任意であることから、撮像素子の画素数 $m$ にかかわらず原画像のどんな位置の画像信号をも求めることができることを意味する。

【0033】つまり、任意の領域を画素数 $m$ に対応して撮像することができるため、補間演算を行うことなしに電子ズームが可能となる。

【0034】ここで(6)式の $H^{-1}$ は復元画像を表示するための変換と考えることができ、サフィックス $s$ は表示画素数を表し、 $H_s^{-1}$ は $s \times m$ 行列で表される。

【0035】このように、本発明では計算において

\*【0021】今、図3(a)に示すような連続画像である原画像 $f(r)$ を光学系 $L$ により結像し、その結像面におかれた撮像素子(図示せず)において離散画像である観察画像 $g(r)$ を撮像する場合の、感度関数記憶手段及びその感度関数によって復元する画像復元手段について考える。

【0022】ここで、撮像素子で撮像する場合は、図3(b)に示すように、この観察画像 $g(r)$ は離散画像と考えられ次式のようにモデル化できる。

【0023】

※めて表現すると

★り、感度関数自体を定義することができなくなる。

【0026】そこで、 $H$ の転置行列 $H^T$ を離散系から連続系への変換オペレータとして定義し、 $H H^T$ について考える。即ち、いま撮像素子の画素数を例えば $m$ とすれば、 $H H^T$ は $m \times m$ 行列となり逆行列を考えることが可能となる。そして、復元画像 $f e(r)$ は次式により求められる。

【0027】

☆【0028】また、 $H H^T$ の各要素を $a_{ij}$ とすれば、

$$\dots (7)$$

$F$ を測定する代わりに、感度関数測定手段により感度関数 $H$ を測定することにより、離散画像と定義した観察画像が、(6)式を利用した画像復元手段によって、原画像と同様の連続である原画像を連続画像として復元される。

【0036】ここで、上記感度関数測定手段について、その構成を示す図1を用いて説明する。なお、実際には2次元画像を扱うが、説明を簡略化するため画像の表記は1次元で表すこととする。

【0037】すなわち、図1において、点光源からの光が視野絞り3及び撮影レンズ4を介してCMD10に撮像されるよう照明光源1が配置される。

【0038】この照明光源1は、撮影レンズ4の光軸と垂直な面内を移動するXYステージ2に固定されている。

【0039】そして、撮影レンズ4を通過した光の光路を変化させるため、撮影レンズ4に縦列して液晶レンズ5が配置される。

【0040】ここで、視野絞り3、液晶レンズ5はそれぞれを制御する絞りドライバ6及び液晶レンズドライバ7を駆動させる画角設定回路21に接続される。

【0041】液晶レンズ5を通過した光は、色フィルタドライバ9に接続された回転フィルタ8を介して、撮像

素子としての電荷変調素子（以下、CMDと記す）10に結像される。

【0042】このCMD10には前置増幅器（プリアンプ）12及びアナログ／デジタル（A／D）変換器13が接続される。

【0043】さらに、前記CMD10の固定パターンノイズが予め記憶されているメモリ（以下FPNメモリと記す）15及び前記A／D変換器13とが減算器14の二つの入力端にそれぞれ接続される。

【0044】また、減算器14の出力端には撮像したデータ10を記憶するためのメモリ16（特に感度関数を記憶することとなるため、以下感度関数メモリと記す）が接続される。

【0045】ここで、感度関数Hは列数が本来無限となってしまうが、実際にはこのような測定は不可能であるため、有限個（n個）とし、このメモリには図4に示すように感度関数を $m \times n$ 行列の形で記憶する。

【0046】つまり、各行は対応する画素iの感度分布 $h_i(r)$ が記憶される。

【0047】そして、感度関数メモリ16の出力端にデータ圧縮器17を介して、RGB3原色のためのレッド（R）用感度関数メモリ19r、グリーン（G）用感度関数メモリ19g、ブルー（B）用感度関数メモリ19bの各メモリへの切り替えを行う切り替え回路18が接続されている。

【0048】また、R用感度関数メモリ19r、G用感度関数メモリ19g、B用感度関数メモリ19bには、それぞれアドレス制御器20が接続されている。

【0049】さらに、前記XYステージ2、画角設定回路21、回転色フィルタ8を制御するための色フィルタドライバ9、CMD10の駆動を制御するためのCMDドライバ11、FPNメモリ15、切り替え回路18、及びアドレス制御器20はそれぞれコントローラ22に接続されている。

【0050】次に上記構成に基づく感度関数Hの測定について説明する。

【0051】まず、測定はRGBの各色画像別々に各画角ごとに行う。

【0052】この場合、上述したように感度関数Hは連続系から離散系への変換オペレータであり、その列数は本来無限個となってしまうが、実際にはこのような測定は不可能であるため、n個として測定を行い、必要な位置については後述するように補間演算により算出することとする。

【0053】ここで感度関数Hには、図4に示すように行方向に各観察画像位置での感度分布が、また列方向に各観察画像位置での感度分布が並ぶものとする。

【0054】そして、この感度関数は照明光源1をずらしながら各観察画像位置で撮像することにより求める。

【0055】次に、感度関数測定手段の具体的な作用の

ために、色フィルタドライバ9によって回転色フィルタ8をRにセットした後、画角設定回路21により画角を $\theta_{\max}$ （図5（a）に相当）になるように、絞りドライバ6の制御により視野絞り3を調節すると共に、液晶レンズドライバ7の制御により液晶レンズ5を調節する。

【0056】そして、原画像上の位置を図5（a）のように全視野をn位置（ $x_1, x_2, \dots, x_n$ ）で等分し、照明光源1を原画像上の位置 $x_1$ にXYステージ2の駆動により移動し、CMD10で撮像を行う。

【0057】ここで、視野絞り3と液晶レンズ5による画角設定を図5を用いて説明する。本発明では上述したように（6）式より特に画角を変化させなくとも電子ズームが可能であるが、復元させたい被写体像の光のみをより多く入力することにより、復元の精度を向上させられるためこのような画角設定回路21が設けてある。

【0058】具体的に図5（a）は、広角レンズに相当する場合の例であり、視野絞り3は広く開き、液晶レンズ5の屈折率はその屈折力が大きくなるように制御されている。

【0059】そして、図5（b）は、逆に望遠レンズに相当する場合の例であり、視野絞り3は狭く、液晶レンズ5の屈折率はその屈折力が小さくなるように制御されている。

【0060】つまり、望遠の場合に液晶レンズ5の屈折率が図5（a）と同じであると、撮像素子の一部にしか被写体像の光が入射しなくなるが、図5（b）のように屈折率を下げることで撮像素子全体に被写体像の光が入射し無駄をなくすることができる。

【0061】また、視野絞り3と液晶レンズ5を用いることにより画角を容易に変化させることを可能となる。

【0062】なお、この画角はコントローラ22を介して画角設定回路21にて設定可能な $\theta_{\min} \sim \theta_{\max}$ まで所定の画角（以下 $\theta_{\text{int}}$ と記す）毎に変化させられるようにする。

【0063】次に、CMD10の画素iで撮像された画像信号は感度分布 $h_i(x_1)$ であり、その画像信号はプリアンプ12で増幅され、A／D変換器13でデジタル信号に変換された後、減算器14によってFPNメモリ15に記憶されているCMDの固定パターンノイズが減算された感度分布信号すなわち感度関数データとして感度関数メモリ16の各行の第1列に書き込まれる。

【0064】そして、次に照明光源1を $x_2$ の位置へ移動して同様の処理を行い、得られた感度関数データを感度関数メモリ16の各行の第2列に相当する位置へ書き込む。以下、照明光源が $x_n$ の位置になるまで同様の処理を行い、各位置での感度関数データを対応する感度関数メモリ16に書き込む。

【0065】そして、感度関数メモリ16の各値は圧縮器17にてそのデータ量が圧縮され、感度関数データH $\theta_{\max}$ としてR用感度関数メモリ19rに記憶される。

【0066】次に、画角を $\theta_{int}$ だけ小さくして同様に処理を行って得られる感度関数データ $H_{\theta_{max-int}}$ をR用感度関数メモリ19rに記憶する。

【0067】そして、このように $\theta_{int}$ だけ異なる各視野すべてにわたり感度関数データを記憶し最終的に画角が $\theta_{min}$ になるまで同様の処理を繰り返す。

【0068】なお、検出においてはその視野は原画像の所定位置 $x_1 \sim x_n$ の範囲を等分する $n$ 位置で撮像することになる。

【0069】以上で、R画像に対する感度関数データの記憶を終え、同様にしてG、B画像の感度関数データも求められ、それぞれG用感度関数メモリ19g及びB用感度関数メモリ19bに記憶され、感度関数データの記憶が終了する。

【0070】次に、この測定により求められた感度関数データを用いて撮像素子により撮像された画像の復元を行う、画像復元手段を備えた撮像装置について説明する。

【0071】図2は、上記感度関数測定手段によって求めた感度関数データを用いて、画像の復元法をいわゆるズーミングに応用する画像復元手段を備えた撮像装置の第1実施例についての構成図である。

【0072】なお、図1と同様な構成については同一符号を付してそれらの詳細な説明は省略する。

【0073】図2において、上記図1の感度関数測定手段における減算器14に画像データを記憶するフレームメモリ23を接続する。

【0074】そして、図1においては切り替え回路18を介して圧縮器17に接続していたR用感度関数メモリ19r、G用感度関数メモリ19g、B用感度関数メモリ19bは、図2においては、アドレス制御器20にのみ接続される。

【0075】この各メモリ19r、19g、19bには上述したようにしてそれぞれR、G、B画像の感度関数データが記憶されており、それらからの出力を選択するための切り替え回路24はコントローラ22に接続される。

【0076】そして、画像復元手段として切り替え回路24はデータ伸長器25を介して $(HH^T)^{-1}$ 算出器26及び $H^{-1}$ 算出器27に接続される。

【0077】さらに、その各算出力及び前記画像データより復元画像データを算出すべく、前記各算出器26、27及びフレームメモリ23は $f_e(r)$ 算出器28に接続される。

【0078】そして、視野絞り3を介して撮影レンズ5の前面に存在する撮影被写体30の復元画像を表示する表示装置29は $f_e(r)$ 算出器28に接続される。

【0079】次に上記構成に基づく画像復元装置の作用について説明する。

【0080】撮像被写体30に対する撮像が始まると希

望する画角 $\theta$ になるようにコントローラ22を介して画角設定回路21により視野絞り3、液晶レンズ5が調節される。

【0081】そして、図示しない測光系によりCMD10の露光時間が設定され、回転色フィルタ8がコントローラ22を介して色フィルタドライバ9によってRにセットされる。

【0082】さらに、撮像被写体30が光学系3、4、5を介してCMD10にて撮像されて得られる画像信号はプリアンプ12で増幅され、そしてA/D変換器13にてデジタル信号に変換され、減算器14にてFPNが減算された後フレームメモリ23に画像データ $g(r)$ として記憶される。

【0083】一方、アドレス制御器20により画角 $\theta$ に対応した感度関数データ $H$ がR用感度関数メモリ19rから読み出され、切り替え回路24を介してデータの伸長器25へ入力される。

【0084】データ伸長器25では感度関数 $H$ が復号され、 $(HH^T)^{-1}$ 算出器26及び $H^{-1}$ 算出器27へ入力される。

【0085】 $(HH^T)^{-1}$ 算出器26ではまず(7)式により $HH^T$ の各成分が計算され、続いて $(HH^T)^{-1}$ が計算される。

【0086】また、 $H^{-1}$ 算出器27では $n$ 個の要素からなる感度分布 $h_i(r)$ から表示のための $s$ 個の要素を補間演算により求め、これを転置することにより $H^{-1}$ を求め $f_e(r)$ 算出器28に入力する。

【0087】 $f_e(r)$ 算出器28ではフレームメモリ23より入力される $g(r)$ 、 $(HH^T)^{-1}$ 算出器26より入力される $(HH^T)^{-1}$ 及び $H^{-1}$ 算出器27より入力される $H^{-1}$ より(7)式に基づいてRの復元画像データ $f_e(r)$ を算出し、表示装置29へ出力する。

【0088】さらにG、B画像についても同様に復元画像データを算出した後、表示装置29へ出力されて表示される。

【0089】また、画角を異なる値に設定した場合は、対応した感度関数データが各感度関数メモリ19r、g、bから読み出され同様な処理が行われる。

【0090】以上詳述したように、本実施例によれば、撮影レンズに収差がある場合や焦点はずれが生じている場合においてもPSFを計測することなしに感度関数さえわかれば原画像を復元することが可能であるため多くのレンズ群を用いることなく自動合焦調節にも利用できる。

【0091】その時には撮像素子全体に被写体像の光が入射し無駄がなくなるよう、光学系の一部を液晶レンズとしてその光路変化させるとともに、視野絞りを連動させて駆動させることにより復元画像の精度を向上させることができる。

【0092】また、本実施例では感度関数をデータ圧縮

してから記憶するようにしたため、感度関数データの記憶容量が各なくてすむようになった。

【0093】さらに、本実施例ではRGBの3原色での感度関数データを用いて復元したためカラー画像を良好に復元することが可能である。

【0094】また、本実施例では $H, I$ を変更することにより、容易に異なる画素数で表示することが可能である。

【0095】さらに、本実施例では撮像素子に画素欠陥がある場合においても原画像を正しく復元することができ

【0096】なお、本実施例ではCMD10の全画素を用いて画像の復元を行ったが、本発明では感度関数データ $H$ を求めさえすれば、撮像素子の画素数や画素の位置の制限はないため、例えば適当な画素のランダムサンプリングでも画像を正確に復元することが可能である。

【0097】また、本実施例では感度関数データ $H$ を記憶するようにしたが、感度関数データの記憶時に $H, I$  ( $HH^T$ )' まで計算してこれを記憶するようにしてもよい。

【0098】本実施例では感度関数の測定において照明光源を駆動するようにしたが照明光源を固定してCMDやレンズ系からなる撮像部を駆動するようにしてもよい。

【0099】さらに、感度関数記憶手段においては、図6のようにモニタ31、表示制御器32を用いて照明光源に相当する点を、順次移動して表示させることにより感度関数の測定を行ってもよい。

【0100】さらに、ズームング時に液晶レンズを用いて光路を変化させるようにしたが、図7(a), (b)に示すように複数のレンズ33a, bを移動させるようにしてもよい。

【0101】なお、図7(a), (b)はそれぞれ広角撮像の場合と、望遠撮像の場合を示しており、前述した図5(a), (b)に対応した関係を有している。

【0102】次に、第1実施例とは異なる幾つかの実施例について説明する。

【0103】前述した第1実施例では図3に示したように、原画像と光学系における撮影レンズまでの距離が一定であるという条件の下で感度関係の測定及び撮像された画像の復元が行われた。

【0104】しかし、実際には感度関数は、撮影レンズ\*

$$R' = e_r g_r$$

$$G' = e_g g_g$$

$$B' = e_b g_b$$

この(8), (8'), (8'')式で、 $e_r, e_g, e_b$ は $n \times m$ 行列(ここで、 $n$ は感度関数の測定数、 $m$ はCMDの画素数)であり、且つ $g_r, g_g, g_b$ は $m \times 1$ 行列である。

【0115】なお、図10において参照符号41はCR

\*から原画像までの距離に応じて変化するため、この距離に応じた感度関数を測定して、それに基づいて原画像の復元を行う必要がある。

【0105】そこで、次に、この原理に基づいた第2実施例について図8~図10を用いて説明する。

【0106】なお、前述した第1実施例と同じ働きをする部材については同じ符号を付す。図8は第2実施例における感度関数及び復元フィルタの作成のための構成図を示す。この図8において、図1に示した実施例と異なる点はカラー信号を得るために回転色フィルタの代わりに例えば図9(a)に示すようなストライプタイプのカラーフィルタアレイ39を用いている点と、照明光源1と撮影レンズ4までの距離 $D_i$ に応じて、復元フィルタを作成する点である。

【0107】図8において参照符号34は測距装置(AFセンサ)であり、上記距離 $D_i$ を測距する。

【0108】参照符号35は色分離回路であり、カラーフィルタアレイ39を用いて撮像されたカラー信号をR, G, Bの各色信号に分離して各色別の感度関数メモリ16r, 16g, 16bに出力する。

【0109】参照符号36r, 36g, 36bは復元フィルタ算出器であり、図9(b)に示すように( $HH^T$ )'算出器26、 $H, I$ 算出器27、及び乗算器37により構成されることにより、 $H, I$  ( $HH^T$ )'なる復元フィルタを計算するものである。

【0110】また、参照符号38r, 38g, 38bはR, G, Bそれぞれに計算した復元フィルタを記憶するためのメモリであり、距離 $D_i$ に応じて対応するアドレスに書き込まれるように構成されている。

【0111】そして、照明光源1と撮影レンズ4の距離をXYステージ2によって変化させ、その距離 $D_i$ を測距装置34(AFセンサ)にて計測し、算出した復元フィルタを、対応した復元フィルタに書き込む。距離 $D_i$ には例えば至近から(x)付近までの*i*個選択( $D_1 \sim D_i$ )とする。

【0112】図10は画像の復元回路を示す。

【0113】図10において、参照符号40r, 40g, 40bはフィルタリング器であり、各色別のフレームメモリ16r, 16g, 16bからの画像データ $g_r, g_g, g_b$ に基づいて復元画像データ $R', G', B'$ を次式より算出する。

【0114】

$$\dots (8)$$

$$\dots (8')$$

$$\dots (8'')$$

Tやビデオプリンタ等の出力装置である。

【0116】次に復元処理についてその作用を説明する。

【0117】適正な露光量の下にCMD10により撮像された被写体30の画像信号はプリアンプ12を介して

A/D変換器13によりデジタル信号に変換された後、色分離回路35によりR、G、Bの各色別のデータに分離され、フレームメモリ16r、16g、16bにそれぞれ記憶される。

【0118】一方、測距装置34の働きにより被写体30までの距離 $D_i$ が計測され、アドレス制御器20により各色の距離 $D_i$ に対応する復元フィルタ $e_r$ 、 $e_g$ 、 $e_b$ が復元フィルタメモリ38r、38g、38bより読み出される。

【0119】そして、各フィルタリング器40r、40g、40bにより、(8)、(8')、(8'')式の演算が行われることにより得られた復元信号 $R'$ 、 $G'$ 、 $B'$ が出力装置41へ出力され、CRTへの画像表示等がなされる。

【0120】以上のような第2実施例によれば、各距離 $D_i$ 毎に、復元フィルタを設計し、また、復元処理の際には被写体までの距離に応じて復元フィルタを選択するようにしたため、被写体までの距離が異なる場合にも適切な復元処理を行うことができる。

【0121】また、第2実施例では回転フィルタの代わりにカラーフィルタアレイを用いているため第1実施例のような回転色フィルタ及びその駆動装置は不要となる。

【0122】このカラーフィルタアレイはストライプタイプに限らず、モザイクタイプ、チェックタイプ等の他の適宜なものでもよい。

【0123】また、第2実施例では画角を変化させていないが、第1実施例と同様に画角を変化させてもよい。

【0124】ところで、第2実施例では復元処理の際に被写体までの距離 $D_i$ を計測するための測距装置(AFセンサ)を必要としていた。

【0125】そこで、次に説明する第3実施例は、撮像部の小型軽量化のために測距装置(AFセンサ)を用いない場合である。

【0126】図11は第3実施例による復元処理回路の構成図を示す。

【0127】図11において、参照符号45は距離検出部であり、図12(a)に示すような復元データ $R'$ 、 $G'$ 、 $B'$ から輝度データ $Y'$ を検出するための輝度検出器42、輝度 $Y'$ からバンドパスフィルタ等により画像のコントラストを検出するためのコントラスト検出器43、及びそのコントラスト値を記憶するためのコントラストメモリ46、コントラスト値の最大値を検出するための最大値検出器44により構成される。

【0128】次に、第3実施例の作用について説明する。

【0129】まず、第2実施例と同様に撮影された被写体信号は、色分離後、フレームメモリ16r、16g、16bに記憶される。

【0130】そして、コントローラ22を介してアドレ

ス制御器20により、被写体距離 $D_i$ に相当する復元フィルタが復元フィルタメモリ38r、38g、38bから読み出され、フィルタリング器40r、40g、40bにより復元信号 $R'$ 、 $G'$ 、 $B'$ が求められる。

【0131】そして、輝度検出器42により輝度データ $Y'$ が求められ、続いてコントラスト検出器43によりコントラスト値が求められ、コントラストメモリ46の距離 $D_i$ の位置に対応した位置に書き込まれる。

【0132】次に、被写体距離 $D_i$ に相当する復元フィルタが復元フィルタメモリから読み出され、同様にしてコントラスト値が求められ所定の位置に書き込まれる。

【0133】以上のような処理が被写体距離 $D_i$ まで行われることにより、各距離でのコントラスト値が求められる。

【0134】最大値検出器44では、そのコントラスト値が最大となる距離 $D_{max}$ (図12b参照)をコントローラ22へ出力する。再び、距離 $D_{max}$ に対応した復元フィルタが復元フィルタメモリ38r、38g、38bから読み出されてフィルタリング器40r、40g、40bにより復元処理が行なわれることにより復元データ $R'$ 、 $G'$ 、 $B'$ が出力装置41へ出力される。

【0135】以上のようにして第3実施例では、コントラスト値が最大となる復元フィルタを選んで、復元を行うため、被写体の距離に依らず合焦した画像を得ることができる。

【0136】従って、第3実施例では測距装置(AFセンサ)を必要とせず、また、撮影レンズを動かす必要もないので、軽量小型な撮像部を提供することができる。

【0137】また、第3実施例ではコントラスト検出器43にてコントラストを検出する際に、その範囲と位置を自由に設定できることから、撮影後に自由に合焦させたい位置を指定できる。

【0138】なお、第3実施例ではコントローラからの制御により復元フィルタを距離の順番に選ぶようにしたが、例えば、復元フィルタメモリの読み出し位置が変化するつまみ(図示せず)を設け、観察者がこのつまみを操作して復元画像を表示装置41の画面上で確認しながら、出力すべき画像を選択するようにしてもよい。

【0139】前述の実施例は画面全体を復元するものであり、 $(HH')$ 算出器では $m \times m$ 行列の一般化逆行列を求める演算をすることになる。

【0140】通常 $m$ は $500^2 = 250000$ 程あり、 $HH'$ の一般化逆行列を求めることはかなり複雑になる。そこで、画面を細かく分割し、その分割領域毎に復元フィルタを設計することによって $HH'$ の次元を小さくし、これによって、一般化逆行列を求め易くすることが可能である。

【0141】第4実施例では、この画面の分割による手法を採用する場合について説明する。

【0142】この場合、画面の分割は例えば図13

(a) のように  $4 \times 4 = 16$  分割を行うものとする。

【0143】図14は第4実施例における分割領域毎の復元フィルタ算出回路の要部の構成図を示す。

【0144】ここで50はメモリの読み書きを行うための制御部である。この第4実施例において、感度関数は前述の実施例と同様に測定を行うものとする。

【0145】そして、復元フィルタ算出器47r、47g、47bでは、各分割領域に対応した感度関数を利用して、復元フィルタを算出し、分割復元フィルタメモリ48r、48g、48bに書き込む。

【0146】図15は第4実施例による復元処理回路の構成図を示す。

【0147】この第4実施例において、特徴とするところは、各分割領域毎に対応した分割復元フィルタを分割復元フィルタメモリ48r、48g、48bから読み出してフィルタリング器40r、40g、40bにより復元を行った後、画像合成回路49r、49g、49bにより復元した各分割領域画像を合成して、画面全体を復元することにある。

【0148】なお、第4実施例では分割数を少なくする程、行列  $HH^T$  の次元が小さくなり、計算がし易くなるとともに復元フィルタの算出時間を短縮することができる。

【0149】また、画面を分割する際に、図13(b)のように各分割領域が互いにオーバーラップ領域を持つようにすることにより、合成した画像の不連続な接続を避けることができる。また、逆行列を計算する代わりに従来の逐次的な解法を用いても勿論可能なものである。

【0150】

【発明の効果】以上、本発明では撮像素子各位置の感度関数データを確実に記憶し、この撮像素子各位置の感度関数データを用いて、原画像を解析的に連続画像として光学系の影響を受けず、正確に復元することが可能とした。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例に用いる感度関数測定手段の構成を示す図である。

【図2】本発明の第1実施例の画像復元手段の構成を示す図である。

【図3】本発明の感度関数の説明図を示す。

【図4】本発明の感度関数を示す。

【図5】本発明の画角設定機構を示す構成図である。

【図6】本発明の第1実施例の感度関数測定手段の変形例を示す構成図である。

【図7】本発明の第1実施例における画角設定機構の変形例を示す構成図である。

【図8】本発明の第2実施例における感度関数及び復元フィルタ作成のための構成図を示す。

【図9】図9(a)は本発明の第2実施例に用いるカラーフィルタアレイの一例を示し、且つ図9(b)は第2

実施例に用いる復元フィルタ算出器を示す構成図である。

【図10】本発明の第2実施例による画像の復元回路を示す構成図である。

【図11】本発明の第3実施例による復元処理回路を示す構成図である。

【図12】図12(a)は本発明の第3実施例に用いる距離検出部を示す構成図であり、且つ図12(b)は本発明の第3実施例に用いる距離検出部において最大コントラスト値を与える距離情報が出力されることを説明するための図である。

【図13】図13(a)、(b)は第4実施例における画面の分割形態を例示するための図である。

【図14】本発明の第4実施例における分割領域毎の復元フィルタ算出回路を示す要部の構成図である。

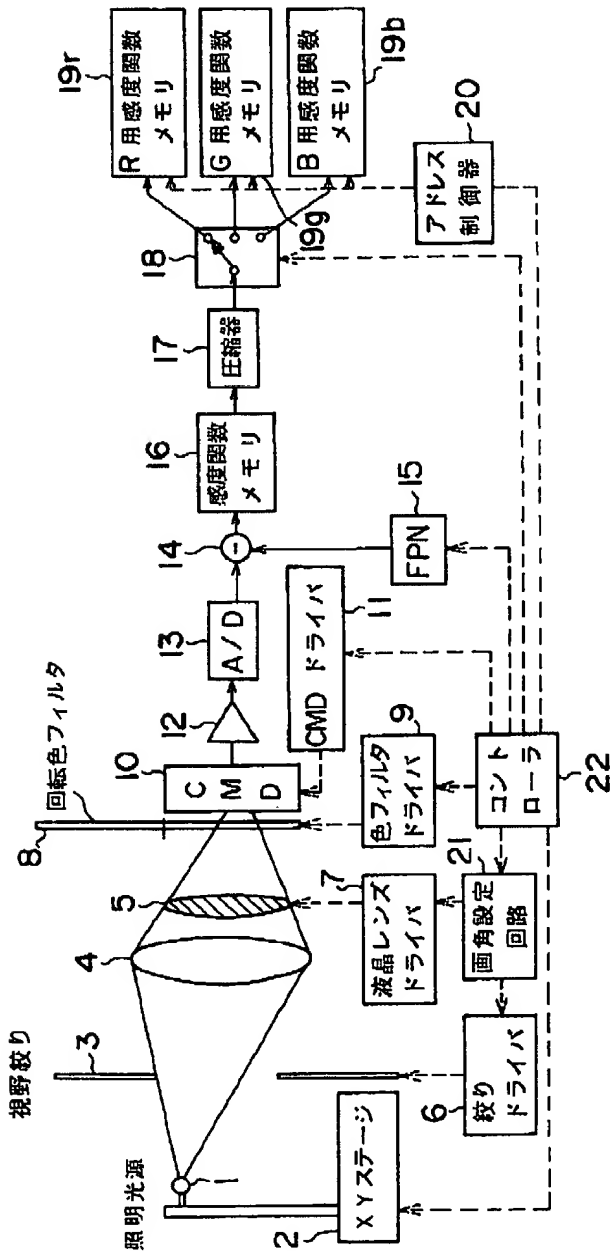
【図15】本発明の第4実施例における復元処理回路を示す構成図である。

【符号の説明】

- |     |                   |
|-----|-------------------|
| 1   | 照明光源              |
| 2   | XYステージ            |
| 3   | 視野絞り              |
| 4   | 撮影レンズ             |
| 5   | 液晶レンズ             |
| 6   | 絞りドライバ            |
| 7   | 液晶レンズドライバ         |
| 8   | 回転フィルタ            |
| 9   | 色フィルタドライバ         |
| 10  | 電荷変調素子(CMD)       |
| 11  | CMDドライバ           |
| 12  | プリアンプ             |
| 13  | A/D変換器            |
| 14  | 減算器               |
| 15  | FPMメモリ            |
| 16  | 感度関数メモリ           |
| 17  | 圧縮器               |
| 18  | 切り替え回路            |
| 19r | R用感度関数メモリ         |
| 19g | G用感度関数メモリ         |
| 19b | B用感度関数メモリ         |
| 20  | アドレス制御器           |
| 21  | 画角設定回路            |
| 22  | コントローラ            |
| 23  | フレームメモリ           |
| 24  | 切り替え回路            |
| 25  | 伸長器               |
| 26  | $(HH^T)^{-1}$ 算出器 |
| 27  | $H^{-1}$ 算出器      |
| 28  | $f_e(r)$ 算出器      |
| 29  | 表示装置              |
| 30  | 撮影被写体             |

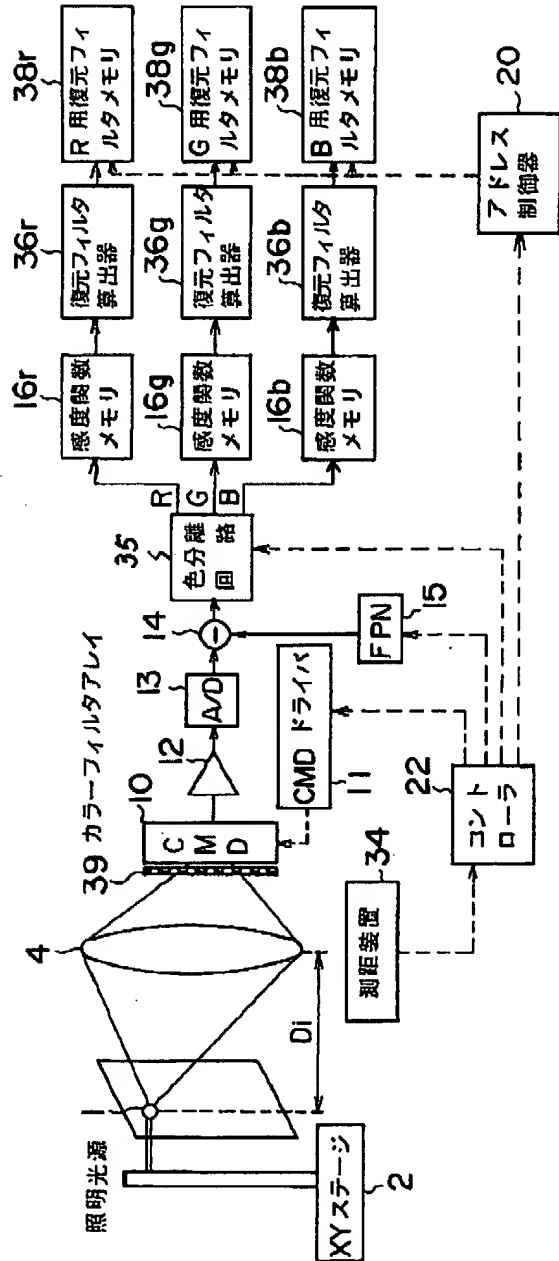
- 15  
 34 測距装置 (AFセンサ)  
 35 色分離回路  
 36 r, g, b 復元フィルタ算出器  
 38 r, g, b 復元フィルタメモリ  
 39 カラーフィルタアレイ  
 40 r, g, b フィルタリング器

【図1】



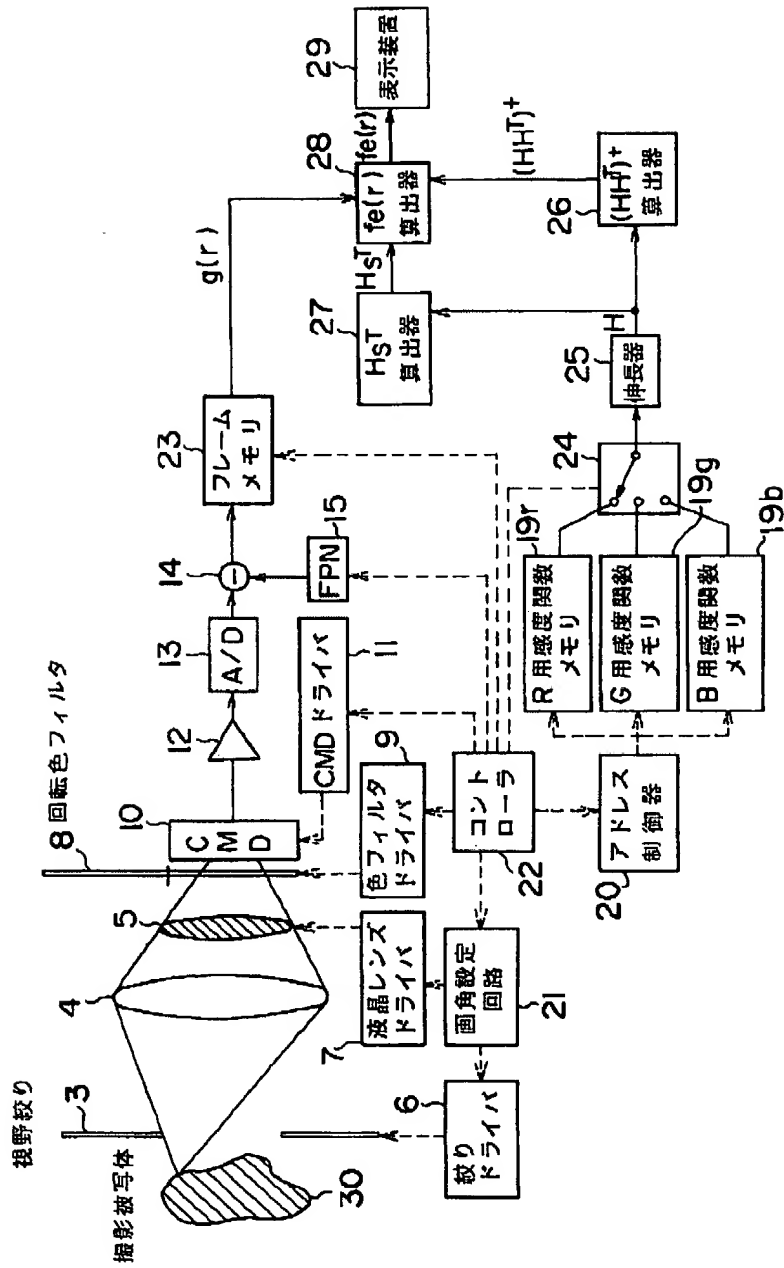
- \* 41 出力装置  
 45 距離検出部  
 47 r, g, b 復元フィルタ算出器  
 48 r, g, b 分割復元フィルタメモリ  
 49 r, g, b 画像合成回路  
 \* 50 制御部

【図8】

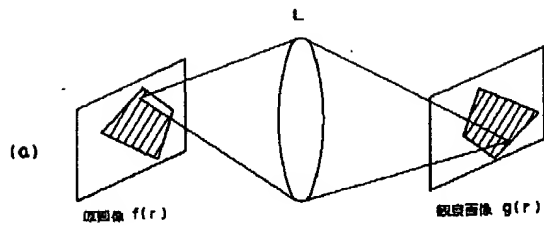




【図2】

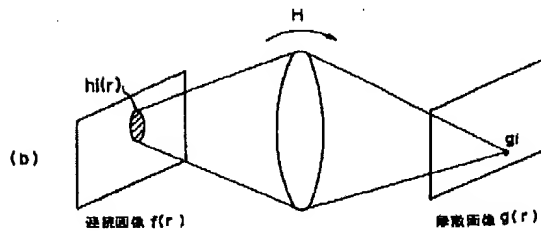


【図3】

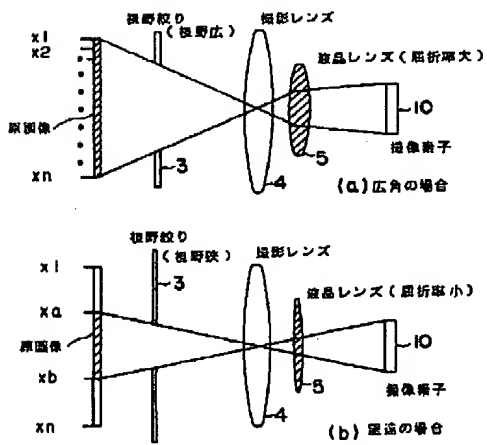


【図4】

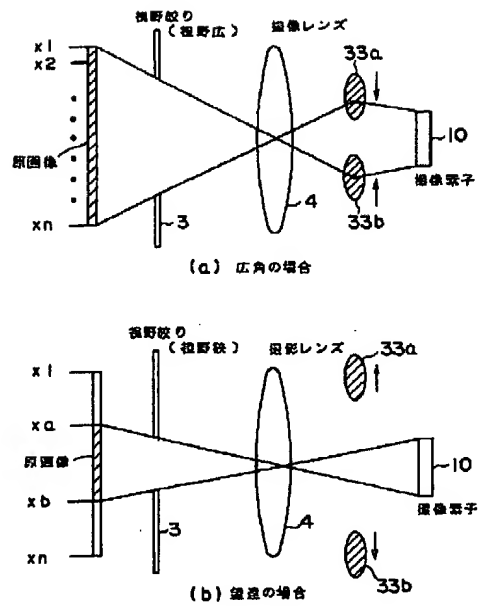
$$H = \left\{ \begin{array}{c} \xrightarrow{\quad n \quad} \\ \boxed{g_1 \text{ の感度分布 } h_1(r)} \\ \boxed{g_2 \text{ の感度分布 } h_2(r)} \\ \vdots \\ \boxed{g_i \text{ の感度分布 } h_i(r)} \\ \vdots \\ \boxed{g_m \text{ の感度分布 } h_m(r)} \end{array} \right\}$$



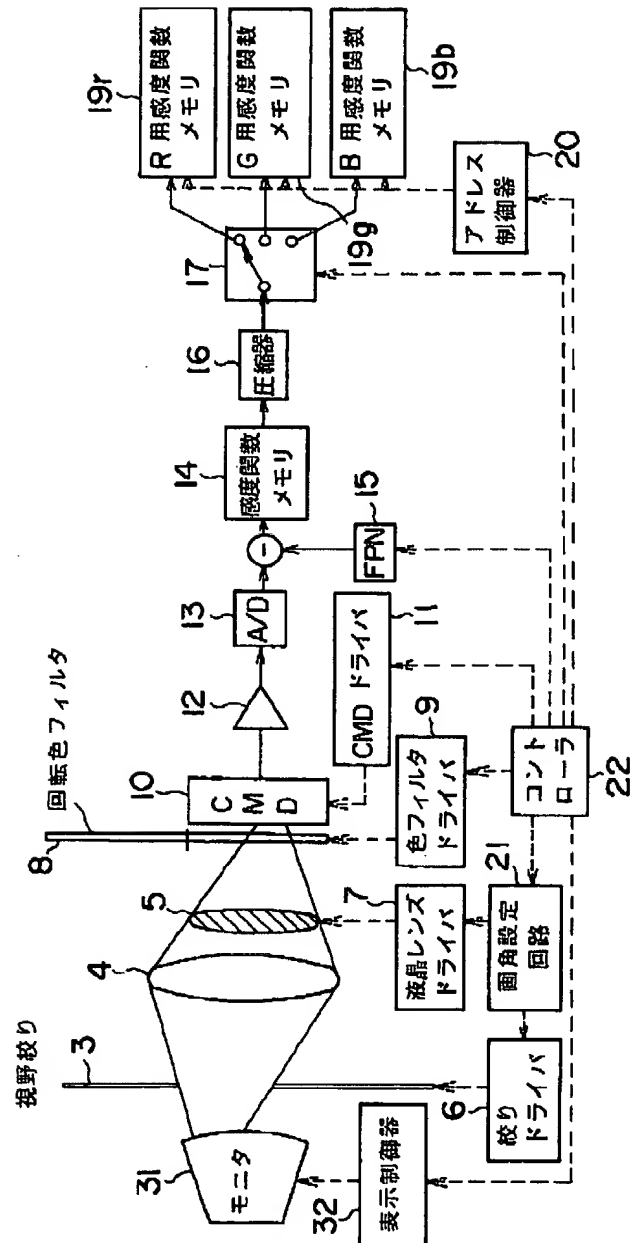
【図5】



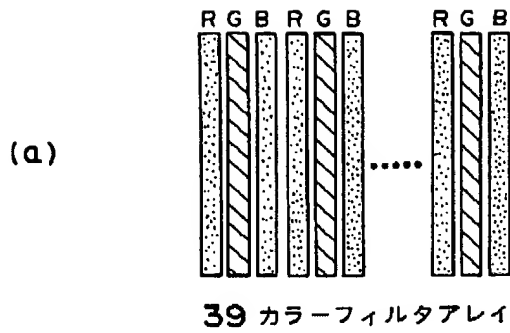
【図7】



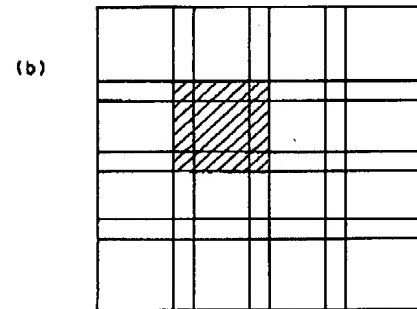
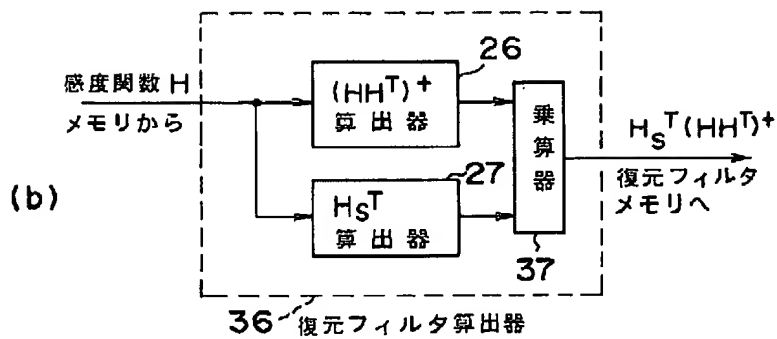
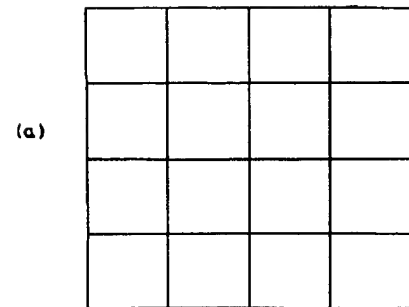
【図6】



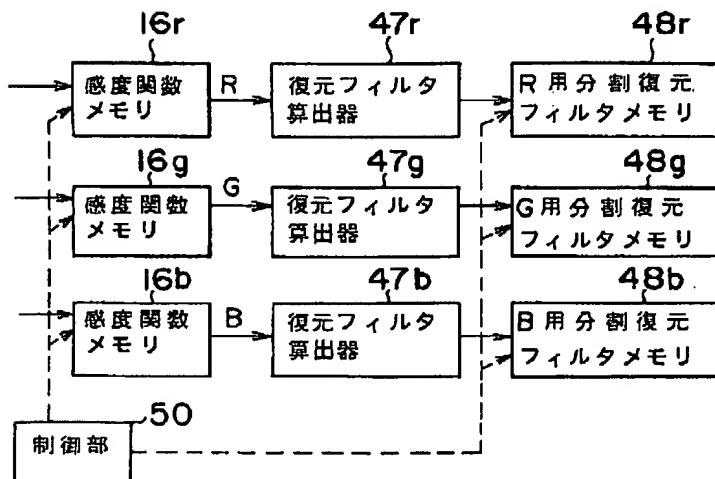
【図9】



【図13】



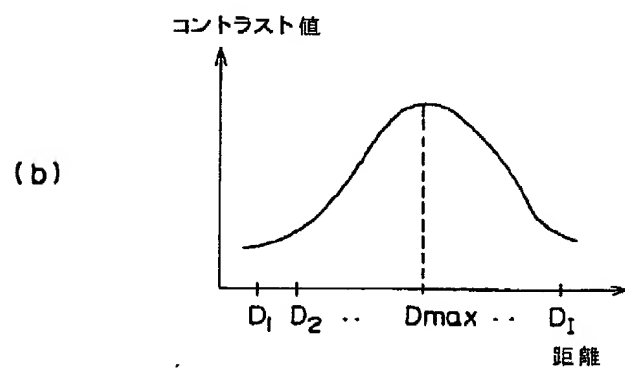
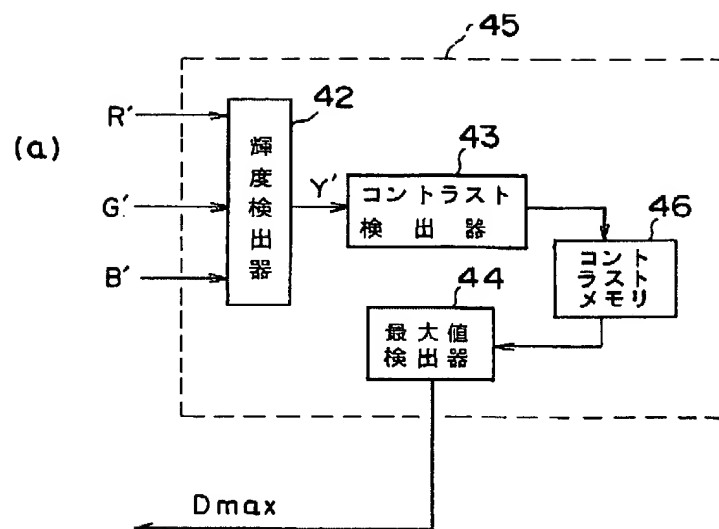
【図14】







【図12】



【図15】

